

УДК 625.42

Д.И. БОЧКАРЕВ, А.А. КЕБИКОВ, кандидаты техн. наук; Н.Е. МИРОШНИКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В.П. ПОЛИЩУК, П.М. КАЗАК
ОАО «Минскметрострой», Республика Беларусь

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПУТИ ДЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

За более чем полувековой период применения типовой конструкции верхнего строения пути метрополитена был выявлен целый ряд ее недостатков, к основным из которых можно отнести повышенный уровень шума и вибраций, утечку тягового тока, низкую ремонтпригодность, значительные затраты при текущем содержании и т.д. Из-за превышения санитарных норм уровня шума и вибраций от обращающихся поездов в зданиях, прилегающих к линиям метрополитена мелкого заложения, совершенствование конструкций пути в настоящее время направлено главным образом на решение данной проблемы. В статье рассмотрены основные конструкции верхнего строения пути и скреплений в метрополитенах, проанализированы особенности их эксплуатации, а также предложены технические решения по разработке новой конструкции пути с улучшенными виброзащитными свойствами.

Ключевые слова: шум и вибрации, типовая конструкция пути, виброзащитные свойства, бесшпальный путь

Введение. Развитие метрополитена в Республике Беларусь и за рубежом осуществляется главным образом за счет строительства новых линий способом мелкого заложения, который имеет существенный недостаток: в прилегающих к ним зданиях уровень шума и вибраций от обращающихся поездов часто превышает санитарные нормы [1–4].

Решение этой проблемы осуществляется по нескольким направлениям: совершенствование ходовых частей подвижного состава, улучшение виброзащитных свойств железнодорожного пути, применение виброзащитных обделок и экранов, устанавливаемых между тоннелем и зданиями, и разработка виброзащитных конструкций зданий. При этом улучшение виброзащитных свойств железнодорожного пути включает в себя как модернизацию эксплуатируемых участков, так и разработку принципиально новых конструкций для строящихся линий. Основную роль в данном направлении играют промежуточные скрепления, обеспечивающие в течение длительного времени проектное положение рельсовой колеи, предотвращающие угон пути, износ элементов рельсошпальной решетки и обладающие необходимой упругостью для снижения уровня вибраций и шума.

К промежуточным рельсовым скреплениям в пути с железобетонным основанием (особенно крупноблочным и монолитным) в тоннелях метрополитенов наряду с общими требованиями предъявляется ряд специфических, к которым следует отнести возможность регулировки рельсовой нити по высоте и в плане, обеспечение требуемой боковой жесткости узла, исключение коррозии и износа закладных деталей, легкость замены элементов (болтов, прокладок, подкладок и т.д.) [5–6].

Типовая конструкция пути метрополитена. Конструкция пути Минского метрополитена, а также метрополитенов стран СНГ принципиально не претерпела изменений с момента ввода в эксплуатацию первой очереди строительства Московского метрополитена: в качестве подрельсового основания используют деревянные шпалы, которые в большинстве случаев замоноличены в путевой бетон. В отличие от перегонных тоннелей, где используют цельные деревянные шпалы (рисунок 1 а), пересе-

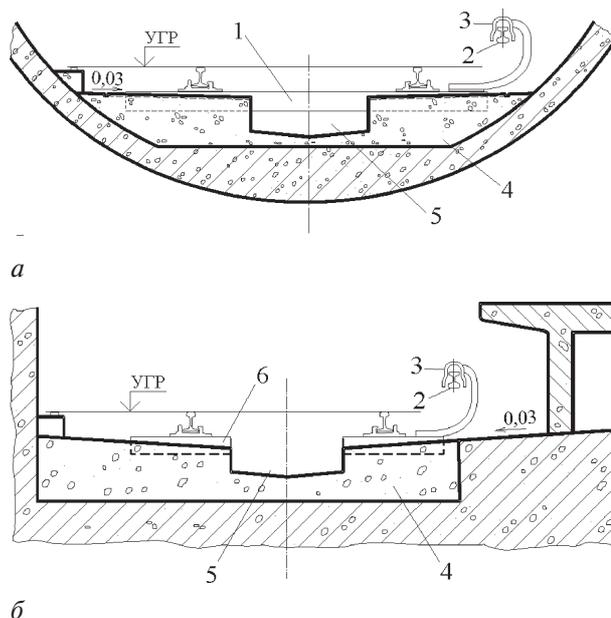


Рисунок 1 — Типовые конструкции пути метрополитена:
а — в перегонных тоннелях; б — у пассажирских платформ;
1 — цельная деревянная шпала; 2 — контактный рельс с защитным коробом; 3 — путевой бетон; 4 — водоотводный лоток; 5 — деревянная шпала-коротыш

кающие лоток, на путях у станционных платформ применяют деревянные шпалы-коротыши (см. рисунок 1 б). При этом лоток между рельсовыми нитями остается открытым, что создает благоприятные условия для его очистки. Пересечение же лотка шпалами в перегонных тоннелях существенно усложняет работы по очистке лотковой зоны и замене подрельсового основания (бригада из пяти человек в течение одного ночного технологического «окна» заменяет одну шпалу), поэтому, по мнению специалистов [3], существующая конструкция пути с деревянными шпалами, замоноличенными в путевой бетон, относится к разряду неремонтопригодных. Попытки полной механизации работ по замене шпал также не увенчались успехом.

В метрополитене с вышеуказанной конструкцией пути наибольшее распространение получило раздельное безрезьбовое скрепление типа «Метро» (рисунок 2), которое содержит металлическую подкладку 3 (имеющую с наружной стороны высокую реборду, а с внутренней — выступающую часть в виде «лапы»), нашпальную 1 и подрельсовую 4 прокладки, шурупы 2 и маятниковый штырь 6 со шплинтом 5.

Между стержневой частью маятникового штыря с одной стороны, «лапой» — с другой и подошвой рельса предусмотрен зазор δ , обеспечивающий свободное положение рельса на подкладке. Кроме того, в случае использования промежуточного скрепления типа «Метро» для предотвращения продольного смещения рельсовых плетей необходима установка противоугонов.

Типовая конструкция пути (см. рисунок 2) отличается высокими затратами при текущем содержании, главным образом из-за излома шурупов, а также значительным уровнем шума и вибраций от проходящих поездов. Прикрепляемые к шпалам кронштейны контактного рельса под поездной нагрузкой имеют повышенную амплитуду колебаний, что приводит к хаотической подвижке контактного рельса, вызывающей на контакте с токоприемником подвижного состава искрение, негативно влияющее на работу тяговых двигателей мотор-вагонных секций.

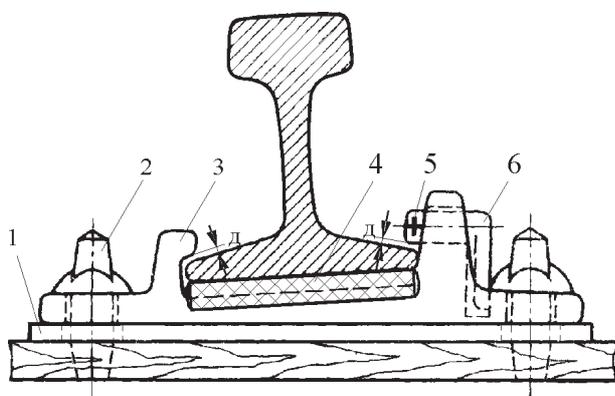


Рисунок 2 — Промежуточное скрепление типа «Метро»:
1 — нашпальная прокладка, 2 — шуруп; 3 — подкладка;
4 — подрельсовая прокладка; 5 — шплинт;
6 — маятниковый штырь

Существенным недостатком типовой конструкции пути с деревянными шпалами также является наличие утечки тягового тока, что негативно сказывается на целостности обустройств как тоннельной обделки, так и других сооружений, находящихся в зоне действия блуждающих токов [3].

Виброзащитная конструкция пути с рамным железобетонным подрельсовым основанием. Для преодоления указанных выше недостатков институт «Метрогипротранс» по подготовленному ВНИИЖТ техническому заданию в 1980 г. разработал путь с рамным железобетонным подрельсовым основанием (рисунок 3).

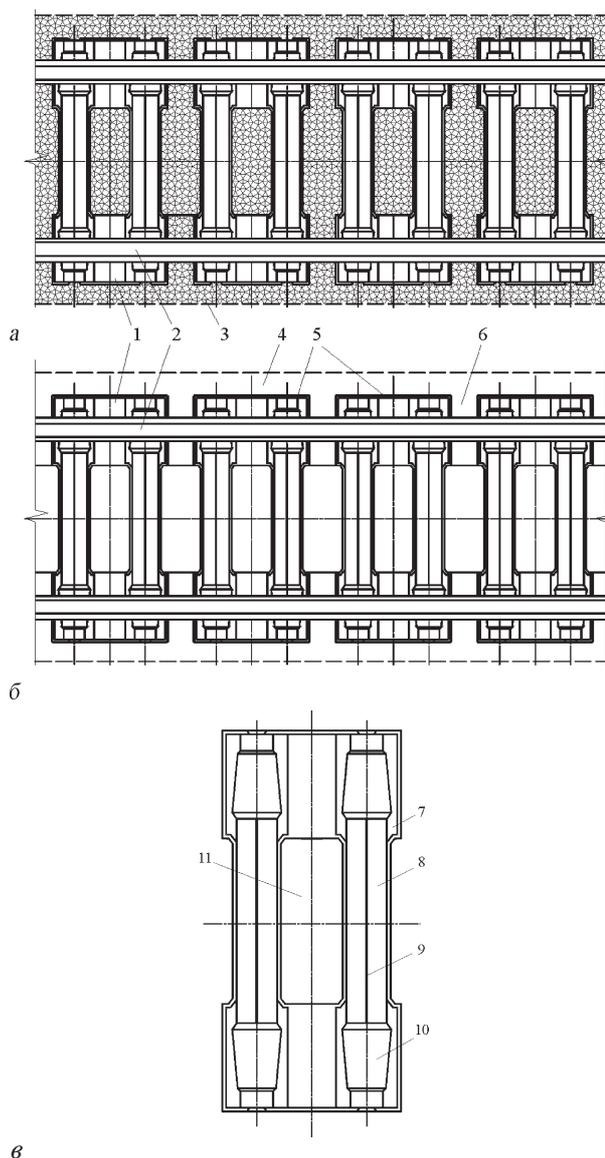


Рисунок 3 — Общие схемы пути с железобетонными рамными шпалами: а — с щебеночным балластным слоем; б — виброзащитный вариант для безбалластного пути; в — рамная шпала (общий вид в плане); 1 — рамная железобетонная шпала; 2 — рельс; 3 — щебеночный балластный слой; 4 — путевой бетонный слой; 5 — амортизирующая резиновая прокладка; 6 — продольный железобетонный упор; 7 — лежневая часть рамной шпалы; 8 — поперечная связь; 9 — замоноличенный в бетон металлический профиль для крепления по месту охранных уголков челночного типа; 10 — подрельсовая площадка; 11 — сквозной проем

По результатам положительных полигонных испытаний [7] Мосметрострой уложил три опытных участка на перегонах: «Нахимовский проспект» — «Севастопольская», «Царицыно» — «Орехово», «Праздская» — «Южная», которые надежно эксплуатируются и в настоящее время. Однако дальнейшая укладка пути с рамным железобетонным подрельсовым основанием приостановлена из-за сложности выполнения строительных работ в стесненных условиях тоннеля. Кроме того, одиночная замена рамного подрельсового основания при ремонтах возможна только с разрезкой бесстыковых рельсовых плетей.

Виброзащитная конструкция пути с лежневым железобетонным подрельсовым основанием. Модернизируя предыдущую схему, ВНИИЖТ создал и испытал в полигонных условиях Экспериментального кольца конструкцию виброзащитного пути с лежневым железобетонным подрельсовым основанием. Первые опытные участки для проведения эксплуатационных испытаний были устроены в тоннелях Киевского и Новосибирского метрополитенов.

Главные преимущества этого варианта пути по сравнению с типовым заключаются в продлении срока службы подрельсового основания не менее чем в 2 раза, снижении трудозатрат при текущем содержании в 2,5—3 раза, полная механизация очистки и промывки у пассажирских платформ станций и на перегонах, а также снижение уровня виброускорений тоннельной обделки более чем в 3 раза.

В основе разработки лежит схема, приведенная на рисунке 4. Как видно из рисунка, путь не содержит поперечных связей между продольно ориентированными лежнями под каждой рельсовой нитью. Их стабильное положение обеспечивают продольные и боковые упоры. Лежни прижимаются к боковым упорам планками и не имеют жестких связей с путевым бетонным слоем. Вертикальная нагрузка передается на основание через подлежневые амортизирующие прокладки, каждая из которых состоит из двух клинообразных элементов, обеспечивающих возможность регулировки положения рельсов вместе с лежнями в вертикальном направлении в диапазоне ± 10 мм. При необходимости лежни легко заменяются.

В качестве промежуточного рельсового скрепления для пути с лежневым подрельсовым основанием принято бесподкладочное безрезьбовое анкерное скрепление АРС (рисунок 5) [8].

Рельс укладывается на изолирующую прокладку-амортизатор 1, которая находится на подрельсовой площадке шпалы, заглубленной в бетон, и прижимается двумя упругими клеммами 2. Клеммы в выступающих головках анкера 3, замонтированного в шпале, зажимаются с использованием дополнительного элемента — монорегулятора 4, выполненного в виде шестигранника с эксцентриковой осью. Для электроизоляции между подошвой рельса, прижимной частью клеммы и анкером устанавливается уголок 5. Между опорной частью

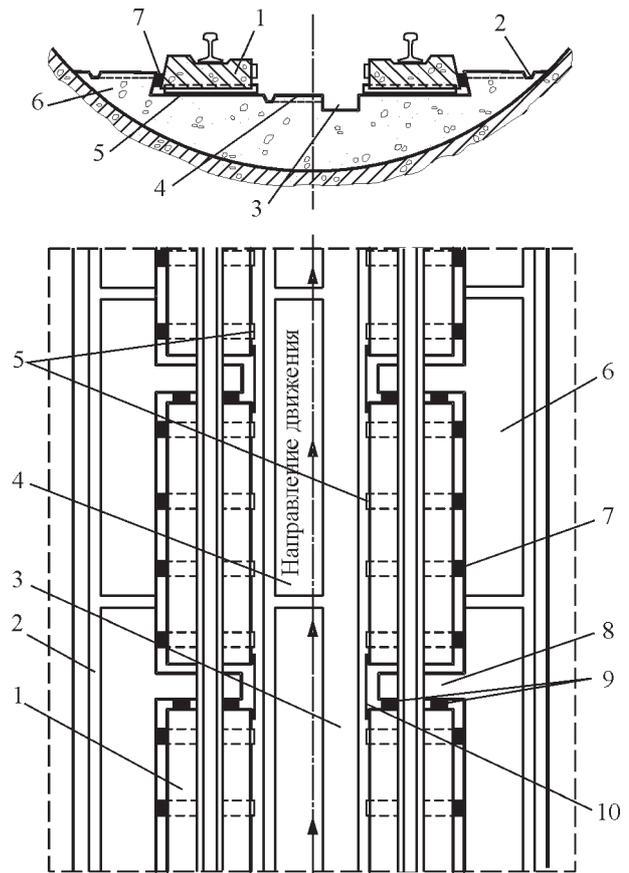


Рисунок 4 — Общая схема виброзащитного пути с лежневым железобетонным подрельсовым основанием:
1 — железобетонный лежень; 2 — водосборный желобок; 3 — продольный водоотводный лоток; 4 — пешеходная дорожка; 5 — подлежневая амортизирующая прокладка; 6 — путевой бетонный слой; 7 — боковая амортизирующая прокладка; 8 — продольный железобетонный упор; 9 — торцевые амортизирующие прокладки; 10 — прижимная планка

клеммы и бетоном шпалы размещается металлический подклемник 6.

Применение тяжелого анкера из чугуна улучшает условия взаимодействия в контакте «бетон —

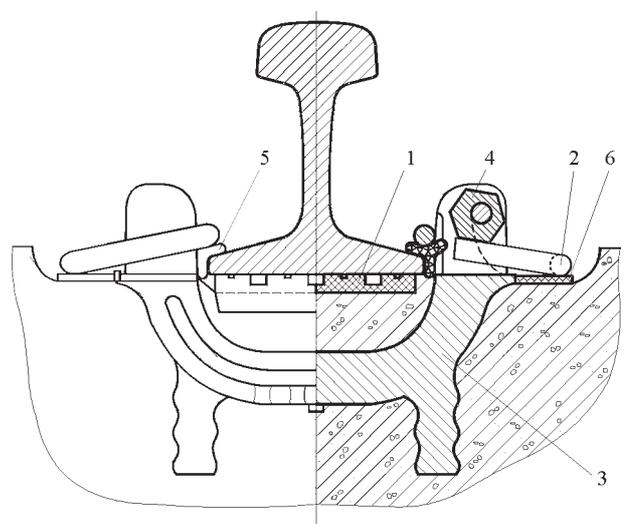


Рисунок 5 — Скрепление типа АРС-4:
1 — прокладка; 2 — упругая пружинная клемма; 3 — анкер; 4 — монорегулятор; 5 — изолирующий уголок; 6 — подклемник

анкер» и повышает надежность, однако увеличивает вес и стоимость конструкции. Также возможно уширение колеи в кривых участках и снижение сопротивления угону вследствие низкой износостойкости изолирующих уголков.

Виброзащитная конструкция пути с композитными шпалами-коротышами. На рисунке 6 приведено поперечное сечение конструкции пути с замоноличенными в путевой бетонный слой композитными шпалами-коротышами, предложенное фирмой «АБВ» [4].

Композиционный материал шпал-коротышей имеет ряд принципиальных преимуществ по сравнению с бетоном; большую в два раза прочность, на несколько порядков более высокое электрическое сопротивление, исключение утечки тягового тока и электрокоррозии.

В настоящее время выпускают четыре модели виброзащитных рельсовых скреплений данного типа: ВГС 1 (рисунок 7 а) — для установки на действующих линиях, ВГС 2 (см. рисунок 7 б) — для установки на действующих линиях в кратчайшие сроки (взаимозаменяема с подкладками типа «Метро»), ВГС 5 (см. рисунок 7 в) — для установки на строящихся линиях и ВГС 7 — для установки на железобетонных шпалах, лежнях и плитах безбалластного мостового полотна [9].

Бесшпальный путь метрополитена на эластичных опорах. На рисунке 8 представлена схема поперечного сечения бесшпального пути на эластичных опорах, разработанная ОАО «Минскметропроект», на основе опыта эксплуатации предыдущих конструкций и моделирования взаимодействия с подвижным составом по условию минимизации виброускорений элементов верхнего строения пути, возникающих под действием вертикальных и боковых (горизонтальных) сил, а также с учетом физико-механических свойств современных вибропоглощающих материалов. В данной конструкции пути металлическая подрельсовая подкладка укладывается на литую эластичную опору, которая устраивается непосредственно на путевом бетоне. Кронштейн для крепления контактного

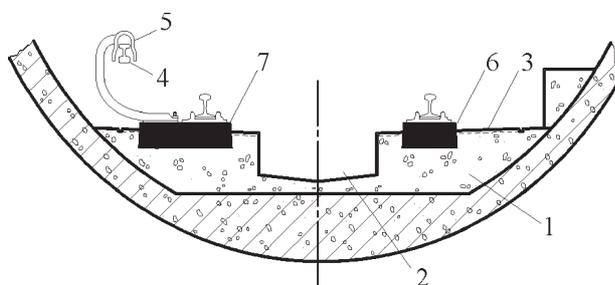
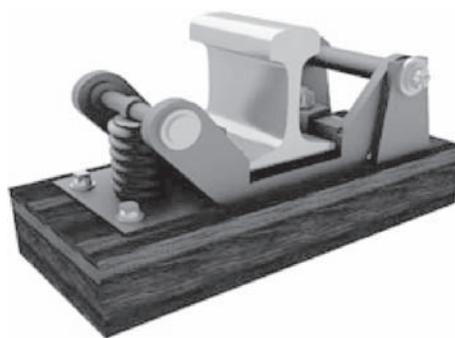


Рисунок 6 — Поперечное сечение пути с композитными шпалами-коротышами, замоноличенными в путевой бетонный слой (разработка фирмы «АБВ»): 1 — путевой бетонный слой; 2 — водоотводный лоток; 3 — пешеходная дорожка; 4 — контактный рельс; 5 — защитный короб; 6 — шпала-коротыш КР-65 для прикрепления ходового рельса; 7 — шпала-коротыш КРД-65 для прикрепления ходового и контактного рельса



а



б



в

Рисунок 7 — Виброзащитные скрепления для композитных шпал-коротышей: а — ВГС 1; б — ВГС 2; в — ВГС 5

рельса устанавливается на отдельной эластичной опоре. Для изготовления опор применяется резиноподобный материал, поглощающий вибрацию.

Упругое рельсовое скрепление бесшпального пути на эластичных опорах представлено на рисунке 9. Рельс укладывается на металлическую подкладку 10 и прижимается при помощи пружинных клемм 14 и клеммных болтов 12 с шайбами 9 и гайками 13. Под подошву рельса и металлической подкладки 10 укладываются подрельсовая 11 и регулировочная 5 прокладки соответственно. Электроизоляция одной рельсовой нити от другой осуществляется за счет укладки металлической подрельсовой подкладки 10 на литую эластичную опору 4, заливки анкерного болта 8 в путевой бетонный слой 1 изолирующим клеем 3, а также установкой изолирующей втул-

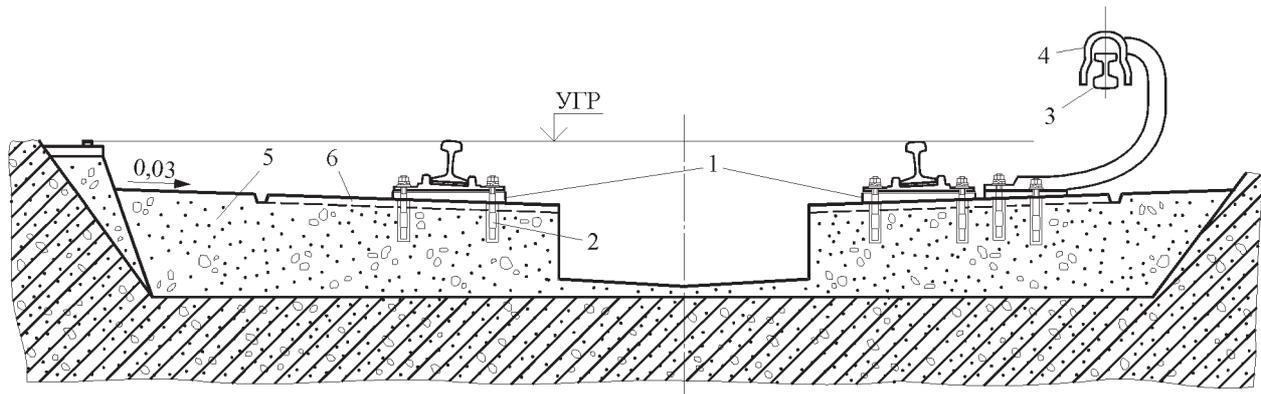


Рисунок 8 — Схема конструкции беспшального пути на эластичных опорах:

1 — литая эластичная опора; 2 — анкерный болт; 3 — контактный рельс; 4 — защитный короб; 5 — путевой бетонный слой; 6 — канавка для пропуска воды

ки с эксцентриком 6, предотвращающей контактирование анкерного болта 8 с металлической подкладкой 10.

Наличие пружины 7 позволяет рельсу совместно с металлической подкладкой 10 перемещаться в вертикальной плоскости при проходе четырехосных вагонов и возвращаться в исходное положение без нарушения стабильности эластичных опор 4, поддегивания анкерных болтов 8 и образования остаточных деформаций в зоне прикрепителя.

В то же время, несмотря на эффективное снижение шума и вибраций, данная конструкция

пути требует высокой точности укладки путевого бетонного слоя и отличается значительной трудоемкостью работ по устройству литых эластичных опор.

Виброзащитная конструкция пути с блочными рельсовыми опорами. Преодоление отмеченных недостатков возможно в конструкции пути с блочными рельсовыми опорами (рисунок 10). В данной системе рельсы крепятся к бетонным опорным блокам, которые устанавливаются в гнездах, выполненных по эюре в путевом бетонном слое, с помощью эластичной шумо- и виброгасящей заливочной массы. Возможно также использование под опорным блоком виброизоляционной прокладки.

Изготовление опорных блоков на заводе позволяет обеспечить высокую точность их установки даже в условиях тоннеля метрополитена, регулируя их положение в гнездах путевого бетона заливкой различного количества заливочной массы.

Закключение. Применяемая в настоящее время типовая конструкция верхнего строения пути с деревянными шпалами и скреплением «Метро» обладает рядом недостатков и требует совершенствования, которое направлено главным образом

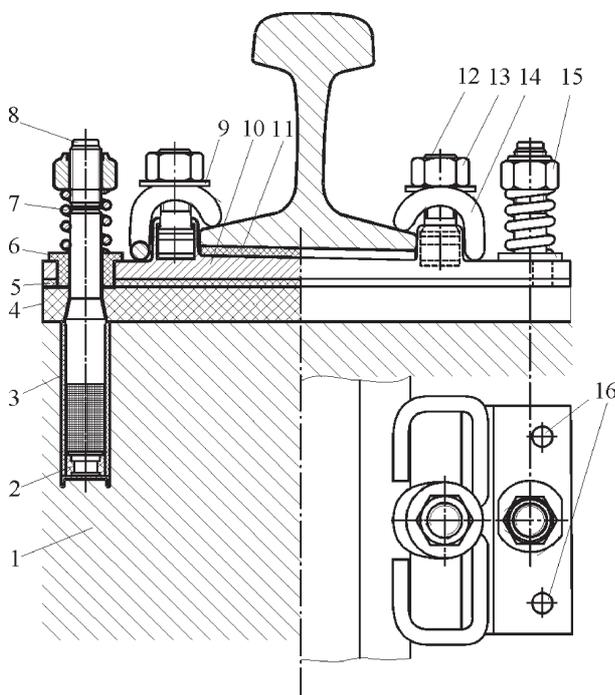


Рисунок 9 — Схема упругого скрепления беспшального пути метрополитена на эластичных опорах: 1 — путевой бетонный слой; 2 — кольцо центрирующее; 3 — изолирующий клей; 4 — литая эластичная опора; 5 — регулировочная прокладка; 6 — втулка изолирующая с эксцентриком; 7 — пружина; 8 — анкерный болт; 9 — шайба; 10 — металлическая подкладка; 11 — подрельсовая прокладка; 12 — клеммный болт; 13 — гайка; 14 — клемма пружинная; 15 — гайка самоконтрящаяся; 16 — технологические отверстия для заливки материала эластичной опоры

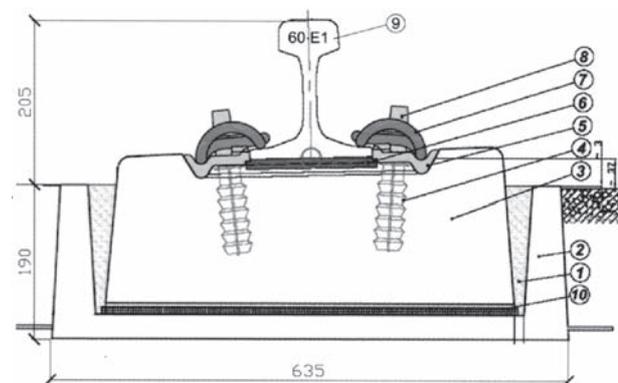


Рисунок 10 — Конструкция пути метрополитена с блочными рельсовыми опорами: 1 — эластичная заливочная масса; 2 — путевой бетонный слой; 3 — опорный блок; 4 — винтовой дюбель; 5 — угловая направляющая; 6 — подрельсовая прокладка; 7 — эластичная клемма; 8 — болт; 9 — рельс; 10 — виброизоляционная прокладка

на улучшение ее виброзащитных свойств. Общей тенденцией развития конструкций пути в данном направлении является размещение упругих элементов не только в промежуточных скреплениях, но и между подрельсовыми основаниями или верхним строением пути в целом и тоннельной обделкой, т.е. возможно ближе к объекту защиты от динамических сил, что реализуется в конструкциях бесшпального пути. При этом учитываются требования технологичности его устройства и эффективности последующей эксплуатации.

Список литературы

1. Улучшение виброзащитных свойств существующей конструкции пути метрополитенов / В.Ф. Барабошин [и др.] // Совершенствование конструкции железнодорожного пути для метрополитенов: тр. ВНИИЖТ. — М.: Транспорт, 1981. — Вып. 630. — С. 4—26.
2. Барабошин, В.Ф. Основные параметры новой конструкции пути метрополитенов с повышенными виброзащитными свойствами / В.Ф. Барабошин // Совершенствование конструкции железнодорожного пути для метрополитенов: тр. ВНИИЖТ. — М.: Транспорт, 1981. — Вып. 630. — С. 26—53.
3. Кравченко, Н.Д. Основные направления совершенствования железнодорожного пути метрополитенов / Н.Д. Кравченко // Вестн. ВНИИЖТ. — 2000. — № 6. — С. 23—27.
4. Выбор типа верхнего строения пути для метрополитенов / В.М. Круглов [и др.] // Путь и путевое хозяйство. — 2010. — № 4. — С. 26—29.
5. Зайцев, А.А. Боковые силы в пути метрополитена / А.А. Зайцев // Путь и путевое хозяйство. — 2005. — № 8. — С. 17—19.
6. Кравченко, Н.Д. Особенности работы промежуточных рельсовых скреплений в тоннелях метрополитенов / Н.Д. Кравченко // Совершенствование конструкции железнодорожного пути для метрополитенов: тр. ВНИИЖТ. — М.: Транспорт, 1981. — Вып. 630. — С. 101—108.
7. Особенности пути с железобетонными рамными шпалами / Н.Д. Кравченко [и др.] // Путь и путевое хозяйство. — 2009. — № 7. — С. 9—11.
8. Ермаков, В.М. Скрепления для железобетонных шпал: требования, обоснования и оценка / В.М. Ермаков // Путь и путевое хозяйство. — 2009. — № 2. — С. 9—16.
9. Наумов, Б.В. О выборе типа верхнего строения пути метрополитена: цифры и факты / Б.В. Наумов // Путь и путевое хозяйство. — 2010. — № 7. — С. 30—34.

Bochkaryov D.I., Kebikov A.A., Miroshnikov N.E., Polyschuk V.P., Kazak P.M.

Modern level and future trends of metro railway constructions

During more than half of century period of use the typical construction of upper building metro railway with wood ties and strengthening «Metro» a number of disadvantages has been discovered. The main of them were heightened level of noise and vibration, traction current leakage, low reparability, higher costs at current keeping etc. Because of exceeding the sanitary regulations noise and vibration level in buildings, border upon metro railway lines shallow foundation, enhancement of railway construction in today mainly direct to solve this problem. In article has been viewed main constructions of upper building and strengthening of metro railway, analysed particular qualities of their exploitation and suggested technical decisions on development a new construction with heightened protection against vibration properties.

Поступила в редакцию 20.01.2012.